

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-333376

(P2002-333376A)

(43)公開日 平成14年11月22日 (2002.11.22)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 1 L 3/10  
F 0 1 D 25/00  
F 0 1 K 23/10  
F 0 2 C 6/18  
7/00

識別記号

F I  
G 0 1 L 3/10  
F 0 1 D 25/00  
F 0 1 K 23/10  
F 0 2 C 6/18  
7/00

データード(参考)  
B 3 G 0 8 1  
V  
A  
A  
A

審査請求 未請求 請求項の数 7 OL (全 21 頁)

(21)出願番号 特願2001-136302(P2001-136302)

(22)出願日 平成13年5月7日 (2001.5.7)

(71)出願人 000003687

東京電力株式会社

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号

(72)発明者 梅沢 修一

神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4番1号

東京電力株式会社エネルギー・環境研究所  
内

(72)発明者 帯川 元

神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4番1号

東京電力株式会社エネルギー・環境研究所  
内

(74)代理人 100078765

弁理士 波多野 久 (外1名)

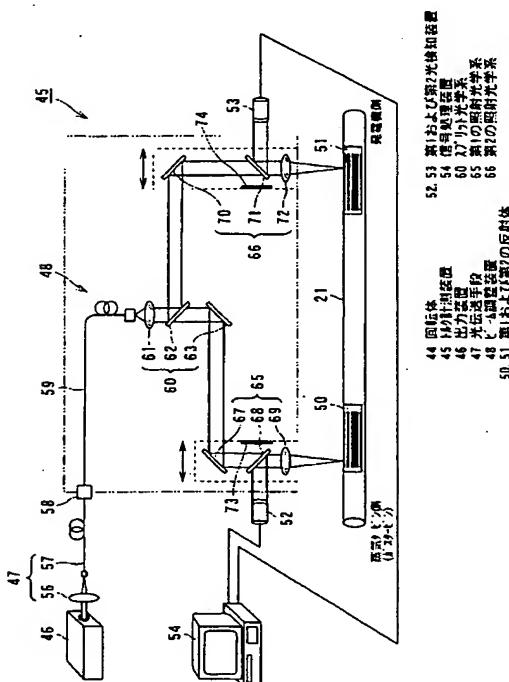
最終頁に続く

(54)【発明の名称】トルク計測装置

(57)【要約】

【課題】回転体の回転速度や軸トルクを雑音の影響を受けることなく、正確に精度よく光学的に非接触にて計測可能としたもの。

【解決手段】トルク計測装置45はレーザ光を出力する出力装置46と、出力レーザ光を分歧させ、各レーザ光のビーム径を調節して回転体21に照射するビーム調整装置48と、回転体21の軸方向に異なる2位置に取り付けられ、照射レーザを反射させる複数の反射手段50、51と、各反射レーザ光の強度変化を検出する光検出手段52、53と、光検出手段52、53からの出力信号に基づいて回転体21の回転周期・トルクを求める信号処理装置54とを備える。ビーム調整装置48は、回転体21にレーザ光を照射する複数の照射光学系6、66を備え、この照射光学系6、66は回転体21に隣接する方向に微調節自在に設けられ、光学センサとして機能しており、回転体21の回転速度、トルクを精度よく、光学的に非接触測定できるものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光等の光線を出力する出力装置と、出力された光線を複数の光線に分岐し、各光線のビーム径を調節して回転体に照射するビーム調整装置と、軸方向に異なる位置で前記回転体の表面に取り付けられ、回転体に照射された光線の反射状態をそれぞれ変化させる複数の反射手段と、上記反射手段から反射される各反射光線の光強度変化をそれぞれ検出する光検出手段と、この光検出手段からの出力信号に基づいて回転体のトルクを求める信号処理装置とを備え、前記ビーム調整装置は出力装置からの光線を回転体の表面に照射する複数の照射光学系を備え、上記照射光学系は光センサを兼ねて回転体に離接する方向に微調節自在に設けられたことを特徴とするトルク計測装置。

【請求項2】 反射手段は、回転体の軸方向に離間した少なくとも2位置に貼り付けられるM系列反射シールであり、各M系列反射シールからの反射光線を光検出手段でそれぞれ検出するようにした請求項1記載のトルク計測装置。

【請求項3】 反射手段は、回転体の軸方向に離間した少なくとも2位置に、かつ、回転体の周方向に少なくとも180度異なる2位置に貼り付けられた反射シールで構成する一方、前記ビーム調整装置は回転体の軸振れによる検出精度誤差を吸収する軸振れ補正装置を設けた請求項1記載のトルク計測装置。

【請求項4】 軸振れ補正装置は、共通の光軸を有する照射光学系と補正照射光学系とから構成され、上記照射光学系と補正照射光学系との間に回転体が位置せしめられる一方、前記軸振れ補正装置は回転体の軸方向に異なる反射シールの貼付位置に対応して複数設けられた請求項3記載のトルク計測装置。

【請求項5】 前記ビーム調整装置は出力装置から出力される光線を回転体表面上に照射する照射光学系と、この照射光学系から照射された光線の反射光線を検出する検出光学系とを有し、上記照射光学系と検出光学系は回転体表面上の垂線に対し入射光線と反射光線が左右対称となるように配設された請求項1記載のトルク計測装置。

【請求項6】 前記照射光学系から回転体表面に斜めに照射するとき、回転体表面上の照射スポットの長手軸方向が反射シールのバーコード縞方向を向くように照射せしめられる請求項5記載のトルク計測装置。

【請求項7】 前記回転体は一軸型コンバインドサイクル発電プラントのタービンと発電機とを連結する動力伝達軸、蒸気タービンプラントの高圧タービン・中圧タービン・低圧タービンを連結する動力伝達軸、あるいは蒸気タービンプラントのボイラ給水ポンプとボイラ給水ポンプ駆動タービンを連結する動力伝達軸である請求項1ないし5のいずれかに記載のトルク計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転機器の回転速度および軸トルクを非接触で光学的に計測するトルク計測装置に係り、特に、コンバインドサイクル発電プラントや蒸気タービンプラントに適用されるトルク計測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】火力発電プラントの熱効率の向上は、燃料の節約および発電コストの低減を図る上で益々重要になっている。火力発電プラントの中でも高効率、高運用性を図る立場からコンバインドサイクル発電プラントが注目されている。

【0003】コンバインドサイクル発電プラントは、ガスタービンプラントと蒸気タービンプラントとを組み合せたもので、ガスタービンプラントからの排熱を蒸気タービンプラントに積極的に活用し、燃料の節約とエネルギー効率の向上を図るようにしたプラントである。

【0004】我国では、10年程度前にコンバインドサイクル発電プラントが初めて導入されて以来、広く利用されているが、燃料の節約や発電コストの低減を図る観点からコンバインドサイクル発電プラントがより一層注目され、近年その利用率の向上が図られている。

【0005】しかし、高効率、高運用性の特徴を有するコンバインドサイクル発電プラントも、運転開始後長期間経過すると、経年劣化が生じ、ユニットによっては熱効率が低下しているものがある。

【0006】コンバインドサイクル発電プラントは1つのプラントに複数のユニットを備え、各ユニットは1つのユニット中にガスタービン(GT)と蒸気タービン(ST)が存在し、1つの発電機(G)に接続される一軸型の構成になっているものがある。一軸型のコンバインドサイクル発電プラントでは、プラント熱効率が変化した場合、その原因が発電プラントのどの構成機器にあるのかを特定することは、熱効率管理上重要である。

【0007】しかしながら、一軸型のコンバインドサイクル発電プラントにおいて、プラント熱効率が低下した場合、個々の構成機器の効率精度を精度よく検出できないために、熱効率低下原因がガスタービン側にあるのか、蒸気タービン側にあるのか、あるいは他の主要構成機器にあるのかを把握し、判断することは大変難しく、困難であった。

【0008】従来は、コンバインドサイクル発電プラントの熱効率の変化原因を特定するために、本発明者等は特開2000-205977号公報に開示した回転体の光学的なトルク計測装置を開発した。

【0009】このトルク計測装置は、回転体に反射体を軸方向に異なる位置に貼着し、両反射体にレーザ装置から発振されたレーザ光を照射して両反射体からの反射光を検出して信号処理するようになっている。従来のトルク計測装置は、反射体から反射される反射レーザ光で回

転体の回転周期を検出することで回転体の回転速度を検出し、両反射体から反射される反射レーザ光の位相差を検出することで回転体の軸トルクを検出するようになっている。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】従来のトルク計測装置は、光反射率が一様な反射体や等間隔（等ピッチ）のバー配置のバーコード型反射体を用いて、回転体の回転速度や軸トルクを光学的に非接触検出しているが、軸トルク等の検出に際し、反射レーザ光の位相がバーコードのピッチ分だけずれると、検出誤差を生じ易く、また雑音に対する対策や回転体の軸偏心に対する対策が施されていない。

【0011】このため、従来のトルク計測装置では、軸トルクを正確に精度よく計測することが困難であったり、雑音に弱い。例えば、等間隔配置のバーコードに雑音が乗ったとき、両反射レーザ光間の位相差がバーコードのピッチ分だけずれて算出されると、反射レーザ光間の位相差を正確に精度よく検出できず、軸トルクの検出誤差が大きくなる課題があった。

【0012】また、従来のトルク計測装置は、レーザ光を回転体の表面上に軸方向に異なる2位置に照射し、軸トルクを検出しているが、回転体の軸偏心により、回転体に振れ廻りが生じると、軸トルクの検出にバラツキが生じ、このバラツキが計測誤差要因となる虞があった。

【0013】本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、回転体の回転速度や軸トルクを雑音の影響を受けることなく、正確に精度よく光学的に非接触にて計測することができるトルク計測装置を提供することを目的とする。

【0014】本発明の他の目的は、回転体の軸偏心による影響を排除して回転体の軸トルクを正確に精度よく検出することができるトルク計測装置を提供することにある。

【0015】本発明のさらに他の目的は、回転体の回転速度や軸トルクを精度よく測定して熱効率が変化した機器を正確に特定でき、熱効率管理が容易で、高精度に性能診断を行なうことができるトルク計測装置を提供することにある。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に係るトルク計測装置は、上述した課題を解決するために、請求項1に記載したように、レーザ光等の光線を出力する出力装置と、出力された光線を複数の光線に分岐し、各光線のビーム径を調節して回転体に照射するビーム調整装置と、軸方向に異なる位置で前記回転体の表面に取り付けられ、回転体に照射された光線の反射状態をそれぞれ変化させる複数の反射手段と、上記反射手段から反射される各反射光線の光強度変化をそれぞれ検出する光検出手段と、この光検出手段からの出力信号に基づいて回転体の

トルクを求める信号処理装置とを備え、前記ビーム調整装置は出力装置からの光線を回転体の表面に照射する複数の照射光学系を備え、上記照射光学系は光センサを兼ねて回転体に離接する方向に微調節自在に設けられたものである。

【0017】また、上述した課題を解決するために、本発明に係るトルク計測装置は、請求項2に記載したように、反射手段は、回転体の軸方向に離間した少なくとも2位置に貼り付けられるM系列反射シールであり、各M系列反射シールからの反射光線を光検出手段でそれぞれ検出するようにしたり、さらに、請求項3に記載したように、反射手段は、回転体の軸方向に離間した少なくとも2位置に、かつ、回転体の周方向に少なくとも180度異なる2位置に貼り付けられた反射シールで構成する一方、前記ビーム調整装置は回転体の軸振れによる検出精度誤差を吸収する軸振れ補正装置を設けたり、また、請求項4に記載したように、軸振れ補正装置は、共通の光軸を有する照射光学系と補正照射光学系とから構成され、上記照射光学系と補正照射光学系との間に回転体が位置せしめられる一方、前記軸振れ補正装置は回転体の軸方向に異なる反射シールの貼付位置に対応して複数設けられたものである。

【0018】さらに、上述した課題を解決するために、本発明に係るトルク計測装置は、請求項5に記載したように、前記ビーム調整装置は出力装置から出力される光線を回転体表面上に照射する照射光学系と、この照射光学系から照射された光線の反射光線を検出する検出光学系とを有し、上記照射光学系と検出光学系は回転体表面上の垂線に対し入射光線と反射光線が左右対称となるように配設されたり、また、請求項6に記載したように、前記照射光学系から回転体表面に斜めに照射するとき、回転体表面上の照射スポットの長手軸方向が反射シールのバーコード縞方向を向くように照射せしめられたり、さらに、請求項7に記載したように、前記回転体は一軸型コンバインドサイクル発電プラントのタービンと発電機とを連結する動力伝達軸、蒸気タービンプラントの高圧タービン・中圧タービン・低圧タービンを連結する動力伝達軸、あるいは蒸気タービンプラントのボイラ給水ポンプとボイラ給水ポンプ駆動タービンを連結する動力伝達軸である。

#### 【0019】

【発明の実施の形態】本発明に係るトルク計測装置の実施の形態について添付図面を参照して説明する。

【0020】図1は、本発明に係るトルク計測装置が適用されるコンバインドサイクル発電プラントの設備概要を示す図である。

【0021】符号10で示すコンバインドサイクル発電プラントは、ガスタービンプラント11と蒸気タービンプラント12とを組み合せて構成され、ガスタービンプラント11から排出される排気ガスを排熱回収ボイラ

(H R S G) 1 3 に導き、この排熱回収ボイラ 1 3 で排氣ガスの廃熱が回収されるようになっている。

【0022】ガスタービンプラント 1 1 は、空気を圧縮する空気圧縮機 1 5 と、この圧縮空気を用いて燃料を燃焼させる燃焼器 1 6 と、この燃焼器 1 6 で燃焼せしめられる燃焼ガスにより回転駆動せしめられるガスタービン (G T) 1 7 と、このガスタービン 1 7 の回転駆動により仕事をさせられる発電機 (G) 1 8 とを有する。ガスタービン 1 7 で仕事をした排氣ガスは排熱回収ボイラ (H R S G) 1 3 に案内されて熱回収が行なわれた後、煙突 1 9 から大気中に放出されるようになっている。

【0023】一方、ガスタービンプラント 1 1 の発電機 1 8 は蒸気タービンプラント 1 2 の発電機を兼ねており、ガスタービン 1 7 、発電機 1 8 および蒸気タービン 2 0 が回転体としての動力伝達軸 2 1 で互いに連結され、一軸上に整列配置されるようになっている。

【0024】蒸気タービンプラント 1 2 は、蒸気発生器を兼ねる排熱回収ボイラ 1 3 と、この排熱回収ボイラ 1 3 で発生した蒸気により駆動される蒸気タービン 2 0 と、この蒸気タービン 2 0 で仕事をした蒸気を凝縮させる復水器 2 3 と、復水器 2 3 で凝縮された復水を復水給水系 2 4 を経て排熱回収ボイラ 1 3 に案内する給水ポンプ 2 5 と、排熱回収ボイラ 1 3 でガスタービン 1 7 からの排ガスで加熱された流体を気液分離させる低圧ドラム 2 6 および高圧ドラム 2 7 とを有する。

【0025】排熱回収ボイラ 1 3 は、ボイラ内に低圧節炭器 3 0 、低圧蒸発器 3 1 、高圧節炭器 3 2 、高圧蒸発器 3 3 、3 4 、過熱器 3 5 が排氣ガスの上流側に向って順次配設される。また、並設配置の高圧蒸発器 3 3 と 3 4 の間に硫黄分を除去する脱硝装置 3 6 が設けられる。この脱硝装置 3 6 の設置位置は高圧蒸発器 3 3 と 3 4 の間に限定されず、より上流側であっても、あるいは下流側であってもよい。

【0026】蒸気タービンプラント 1 2 の復水給水系 2 4 から排熱回収ボイラ 1 3 に案内された給水は、低圧節炭器 3 0 で加熱されて低圧ドラム 2 6 に送られる。低圧ドラム 2 6 では低圧節炭器 3 0 から送られる流体と低圧蒸発器 3 1 から送られる流体が合流して気液分離せしめられ一方、気液分離させられた液分は低圧蒸発器 3 1 および高圧節炭器 3 2 に各ポンプ 3 7 、3 8 のポンプ作用を受けて送られ、加熱作用を受ける。

【0027】低圧蒸発器 3 1 に送られた液分は加熱作用を受けて蒸気となり、再び低圧ドラム 2 6 に送られる。低圧ドラム 2 6 の蒸気分は、蒸気配管 4 0 を通つて直接あるいは図示しない低圧過熱器を経て蒸気タービン 2 2 の途中段落に供給される。

【0028】一方、高圧節炭器 3 2 にて加熱された流体は高圧ドラム 2 7 に送られて高圧蒸発器 3 3 、3 4 から送られる流体と合流し、気液分離せしめられる。気液分離された液分は、高圧蒸発器 3 3 、3 4 にポンプ 3 9 の

作動により送られて加熱作用を受け、蒸気となって再び高圧ドラム 2 7 に還流される。

【0029】高圧ドラム 2 7 内の蒸気分は、過熱器 3 5 でスーパーヒートされて過熱蒸気となった後、主蒸気配管 4 1 を経て蒸気タービン 2 2 に送られ、この蒸気タービン 2 2 を回転駆動させている。蒸気タービン 2 2 の回転駆動により発電機 1 8 を駆動させる一方、蒸気タービン 2 2 で仕事をした蒸気は膨張して復水器 2 3 に導かれて冷却水（海水）と熱交換され、復水となる。

【0030】図 1 に示されたコンバインドサイクル発電プラント 1 0 は、ガスタービン 1 7 と発電機 1 8 と蒸気タービン 2 2 とが一軸上に整列配置された一軸型コンバインドサイクルを構成している。コンバインドサイクル発電プラント 1 0 は、1 つのユニット中にガスタービン 1 7 と蒸気タービン 2 2 とが存在し、1 つの発電機 1 8 に接続される構成となっており、1 つの発電プラント 1 0 は複数のユニット、例えば 3 ユニットから 7 ユニットを備えている。

【0031】コンバインドサイクル発電プラント 1 0 は、高効率、高運用性を特徴とするが、運転開始後長期間経過すると、経年劣化により各ユニット効率が設計時の効率より相当程度低下しているものがある。

【0032】コンバインドサイクル発電プラント 1 0 は、1 ユニット当り 1 5 万 kW 、改良型コンバインドサイクル発電プラントでは 3 5 万 kW 程度の出力を有するが、ユニットによっては新設時のプラント効率より 1 % 程度低下しているものがある。このプラント効率低下の原因を診断して原因機器を特定し、補修することができれば、エネルギー効率が向上し、燃料の節約を図ることができる。診断特定箇所の補修により、プラント効率が 1 % 程度向上させることができれば、1 ユニット当り、年間約 1 億円の燃料経費を軽減させることができる。このため、コンバインドサイクル発電プラント 1 0 の熱効率管理は、燃料節約、発電コストの低減の双方から重要である。

【0033】しかし、一軸型コンバインドサイクル発電プラント 1 0 では、熱効率が低下した場合、主要プラント構成機器の熱効率検出精度が低く、数 % 以下の熱効率検出が不可能なために、熱効率低下原因がガスタービン 1 7 側に起因するのか、あるいは蒸気タービン 2 2 側に起因するのか、あるいは他の主要構成機器に起因するのかを特定することが困難となっている。

【0034】しかし、このコンバインドサイクル発電プラント 1 0 においては、発電機 1 8 を回転駆動させる回転軸 2 1 に光学的なトルク計測装置 4 5 が図 2 に示すように非接触にて計測可能に設けられる。トルク計測装置 4 5 は、回転軸 2 1 の回転速度および軸トルクを光学的に非接触にて計測精度よく測定できるようになっており、1 つの発電機 1 8 に連結されるガスタービン 1 7 と蒸気タービン 2 2 との出力を切り分けて個別に測定でき

る構成となっている。

【0035】このトルク計測装置45は、図2に示すように構成される。トルク計測装置45は、レーザ光等の光線を出力する出力装置46と、この出力装置からの光線を伝送する光伝送手段47と、この光伝送手段47で伝送される光線を第1および第2の光線に分岐させ、各光線のビーム径を調整して被測定体として回転軸である回転体44に照射するビーム調整装置48と、上記回転体44の表面に取り付けられて、第1および第2の光線の反射状態を変化させる反射手段としての第1および第2の反射体50, 51と、第1および第2の光線の反射光の強度変化を検出する光検出手段としての第1および第2の光検知装置52, 53と、これらの光検知装置52, 53の出力信号から回転周期を計算して回転体44の軸トルクを求める信号処理装置54とを有する。信号処理装置54は所定レベル以下の検出信号をカットするフィルタリング装置や第1の検出信号（第2の検出信号）のある回転周期と次の回転周期の相関関数を算出したり、第1および第2の検出信号間の相関関数を算出する相関処理装置（共に図示せず）が内蔵されている。第1および第2の光検知装置52, 53はビーム調整装置48内に内蔵させてもよい。

【0036】出力装置46は、指向性を持つ光線を出力する光源で構成される。ここでは、波長632.8nmのレーザ光を出力するHe-Neレーザ発振装置で構成される。しかし、He-Neレーザに限定されることなく、各種レーザ装置も適用可能であり、また、発光ダイオードやランプなどにレンズやミラー、リフレクタを組み合せて特定方向に高強度の光線を出力できる光源も適用可能である。

【0037】出力装置46から出力された光線を伝送する光伝送手段47は、出力光線を光ファイバに入射させるレンズ56と光ファイバ57とから構成される。光ファイバ57は、例えばコア径 $\phi_f$ が5μmの石英ファイバが用いられるが、多成分系ファイバ、プラスチック等の各種光ファイバが適用可能である。ビーム調整装置48に設置された光コネクタ58は光ファイバ57を着脱可能に接続するものである。

【0038】光コネクタ58によってビーム調整装置48に案内された光線は光ファイバ59によりビームスプリット光学系60に案内される。光ファイバ59は光ファイバ57と同じ光ファイバが用いられる。ビームスプリット光学系60はレンズおよびミラーを組み合せた分岐光学系で構成され、光ファイバ59から出力される光線を平行光にするレンズ61と、この平行光線を2又に分岐させるビームスプリッタとしてのハーフミラー62と、反射ミラー63とを有する。ビームスプリット光学系60はレンズおよびミラーを組み合せた光学系に代えてビームスプリッタのプリズムを用いた分岐光学系でもよい。レンズ61は球面収差を補正可能なアクロマティ

ックレンズで構成したり、また、非球面レンズで構成することもできる。

【0039】また、ビームスプリット光学系60のハーフミラー62を透過した光線は第1の照射光学系65に案内される一方、ハーフミラー62で反射した光線は第2の照射光学系66に案内される。これらの第1および第2の照射光学系65, 66は、光学センサをそれぞれ構成しており、図示しない駆動装置により回転体44の軸方向に移動調節自在にかつ回転体21に隣接する方向（回転体21の半径方向）に微調整可能に設けられる。

第1の照射光学系65を回転体21の半径方向に微調整する場合、ビームスプリット光学系60の反射ミラー63も一体に移動せしめられる。第2の照射光学系66を回転体21の半径方向に微調整移動させる場合には、ビームスプリット光学系60のハーフミラー62も一体に移動せしめられる。回転体21の半径方向の微調整は、集光レンズ69, 72の微調整移動で行なってもよい。

【0040】第1の照射光学系65は、レンズおよびミラーを組み合せた光学系からなり、この光学系65は反射ミラー67、ハーフミラー68および集光レンズ69を組み合せて構成される。第1の照射光学系65は、ビームスプリット光学系60で分岐せしめられた第1の光線を入力しており、入力された第1の光線は反射ミラー67からハーフミラー68を透過させて集光レンズ69で絞り込まれ、回転体44の第1の反射体50上に照射される。集光レンズ69は第1の光線を回転体44の表面上に絞り込み、好ましくは焦点を結ぶように照射せしめられる。

【0041】回転体44に装着された第1の反射体50で第1の照射光学系65の光軸上に反射せしめられた第1の光線の反射光は第1の照射光学系65のハーフミラー68で反射せしめられて光検出手段としての第1の光検知装置52に入力される。第1の光検知装置52に入力された反射光はここで反射光強度に応じた電気信号に光電変換されて信号処理装置54に送信される。

【0042】一方、第2の照射光学系66は、第1の照射光学系65と同様、レンズおよびミラーを組み合せた光学系で構成される。第2の照射光学系66は、ビームスプリット光学系60で分岐せしめられた第2の光線を反射ミラー70からハーフミラー71を透過させて集光レンズ72で絞り込み、回転体44の第2の反射体51上に照射させるようになっている。

【0043】第2の反射体51で反射せしめられた第2の光線の反射光は、第2の照射光学系66のハーフミラー72で反射せしめられて光検出手段としての第2の光検知装置53に入力される。第2の光検知装置53に入力された第2の光線の反射光はここで光電変換されて相関処理装置内蔵の信号処理装置54に電気信号として入力される。

【0044】信号処理装置54は第1の光検知装置52

および第2の光検知装置53からの電気信号が入力され信號処理され、回転体44の回転周期やトルクが算出されるようになっている。

【0045】なお、符号73、74は第1および第2の光線の反射光をカットするビームストップである。

【0046】ところで、回転体44に貼着される第1および第2の反射体50、51には、M系列 (Maximum-Length Linear Shift Register Sequence) の反射シールが用いられる。M系列は周期的な擬似不規則信号 (Pseudorandom Signal) を対象とするものである。M系列の信号は自己相関関数がデルタ関数に近く、近似的に白色雑音 (ホワイトノイズ) と見なせるように、人為的にある規則に基づいて作られた不規則信号である。M系列の他に平方剰余列 (L系列) や双素数列がある。

【0047】M系列の信号は、再現性もよく、規則性と不規則性を兼ね備えた便利な信号で、このM系列を回転体44の反射シールとして利用することにより、雑音による悪影響を効率よく、有効的に排除できる。

【0048】図3は、反射手段としてM系列の反射シール77の長手方向 (回転体21の回転方向) に沿う断面図を示すものである。図3に示すM系列反射シール77の上方からレーザ光 (光線) が照射されるようになっている。この反射シール77は図3に示された左の上側部分がM系列のバーコード領域78となっている。このM系列反射シール77は、例えば厚さ0.1mm、長さ13.7mmのステンレス鋼をエッチング処理して、0.05mmの深さの溝を配列し、バーコード状に構成したものである。M系列反射シール77は他の金属材料で形成してもよい。

【0049】M系列の反射シール77は、図示例ではエッティング形状の縮尺率が縦・横で異なる例を示しており、反射体としての少なくともバーコード領域78が回転体21に貼着される。バーコード領域78は、光の反射率が大きなホワイト部分 (バー状斜線) 79とバー状間隙部分で形成される光の反射率の小さな溝部分 (白色部) 80とからなる。

【0050】次に、トルク計測装置45の作用を説明する。

【0051】出力装置46から、例えばビーム径0.65mmのレーザ光が出力され、この出力レーザ光はレンズ56によって絞られて光ファイバ57に導かれ、光コネクタ58によりビーム調整装置48に案内される。ビーム調整装置48に導かれたレーザ光は、ビームスプリット光学系60により平行光にされ、第1のレーザ光および第2のレーザ光に均等に分岐される。

【0052】第1のレーザ光は、ビームスプリット光学系60のハーフミラー62を通過した後、反射ミラー63で反射されて第1の照射光学系65に導かれ、第1の

照射光学系65を通り、集光レンズ69によって絞られて回転体21の表面に照射される。

【0053】この場合、第1のレーザ光のビーム径が、回転体21の表面で焦点を結ぶように第1照射光学系65または集光レンズ69の位置調整を行なう。回転体44の表面に照射される第1のレーザ光のビーム径は例えば2.2μmである。

【0054】回転体21に照射された第1のレーザ光は、M系列の反射シール77からなる第1の反射体50で反射せしめられる。第1の反射体50からの反射光は、反射率の小さな溝部分からの反射光と、反射率の大きな表面部分からの反射光と第1の反射体50以外の部分からの反射光とからなる。これらの反射光は第1の照射光学系65のビームスプリッタとしてのハーフミラー68で反射されて第1の光検知装置52に入力され、この第1の光検知装置52で光電変換される。光電変換された反射光の強度に応じた電気信号が信号処理装置に出力される。

【0055】また、ビームスプリット光学系60のハーフミラー62により第2のレーザ光が分岐される。第2のレーザ光はハーフミラー62で反射されて第2の照射光学系66に導かれ、この照射光学系66を通って回転体21の表面に照射される。この場合、第2の照射光学系66でも集光レンズ72により第1のレーザ光と全く同様の作用を受け、回転体21の表面に焦点を結ぶように照射される。

【0056】回転体21に照射された第2のレーザ光は、M系列反射シールからなる第2の反射体51で反射せしめられる。第2の反射体51からの反射光は、反射率の小さな溝部分80からの反射光と反射率の大きな表面部分79からの反射光と第2の反射体51以外の部分からの反射光となる。第2のレーザ光の反射光は第2の照射光学系66のハーフミラー71で反射されて第2の光検知装置53に入力される。入力された第2のレーザ光の反射光は、第2の光検知装置53で光電変換された後、電気信号となって信号処理装置54に送信されて信号処理される。

【0057】信号処理装置54では、第1の光検知装置52からの検出信号と第2の光検知装置53からの検出信号を入力して回転体21の回転周期およびトルクを算出するようになっている。

【0058】図4は、1.5万kW級のコンパインドサイクル発電プラント10のタービンと発電機とを結ぶ実際の動力回転軸にM系列反射シール77を貼着した場合の計測データを示すものである。

【0059】M系列反射シール77は、回転体としての動力回転軸21の蒸気タービン20側と発電機18側との軸方向に異なる2位置にかつ回転体21の周方向に少しづらして貼着した場合の例である。

【0060】図4の上2段に示されるグラフ(A)およ

び（B）は、動力伝達軸21の蒸気タービン20側および発電機18側に貼られたM系列反射シール77に照射されたレーザ光の反射光強度の経時変化を示している。図4（A）および（B）は横軸に時間、縦軸に反射光強度を電圧でそれぞれ表わしたものである。

【0061】最上段に示される図4（A）は、動力伝達軸21側の蒸気タービン側のM系列反射シール77からのレーザ光の反射光強度を示すもので、実線は動力回転軸1周期目の波形を、破線は2周期目の波形をそれぞれ示す。図4（A）において、a部分がM系列反射シール77のM系列バーコード領域78からの反射光強度をそれぞれ示しており、2つの波形は反射シール77に印されたバーコードの形を良く表わしている。

【0062】また、2段目の図4（B）は、動力伝達軸44の発電機側M系列反射シール77からの反射光強度を示すもので、実線は動力回転軸1周期目の波形を、破線は2周期目の波形をそれぞれ表わしている。両波形のb部分が反射シール77のM系列バーコード領域78からの反射光強度を示すものである。

【0063】図4において、上から3段目のグラフ（C）の右側部分は、動力回転軸44の軸トルク算出に必要な回転周期を求めるために、図4（A）のM系列反射シール77の1周期目の実線波形と2周期目の破線波形を、相関関数ピーク位置で重ね合せたグラフである。横軸に時間、縦軸に反射光強度を電圧値で表わしている。

【0064】上から3段目のグラフ（C）の左側部分は、回転周期の相関関数を示すもので、横軸に時間、縦軸に相関関数（相関値）を表わしている。この左側部分は、M系列反射シール77の1周期目の実線波形と2周期目の破線波形の回転周期を中心として、ある程度の時間幅をずらして回転周期の相関関数を計算したものである。この回転周期の相関関数は、ピークが鋭く出ており、雑音の影響を受けていないことが示されている。

【0065】図4の4段目のグラフ（D）の右側部分は、動力伝達軸44の軸トルクの算出に必要な回転軸の捩り歪みを求めるために、蒸気タービン側のM系列反射シール77の実線波形と、発電機側のM系列反射シールの破線波形を、捩り歪み量（時間換算）だけずらせて重ね合せた状態を示している（横軸に時間、縦軸に反射光強度をそれぞれ示す）。

【0066】4段目のグラフ（D）の左側部分は、蒸気タービン側のM系列反射シールの実線波形と発電機側のM系列反射シールの破線波形をある程度の時間幅ずらせて捩り歪み量の相関関数を計算させたものである。横軸に時間、縦軸に捩り歪み量の相関関数（相関値）を表わしている。捩り歪み量の相関関数は、ピークが鋭く出ており、雑音の影響をほとんど受けないことを表わしている。

【0067】これに対し、コンバインドサイクル発電

12  
ラント10の動力伝達軸21にバー部分の間隔が等しいバーコード型反射シールを貼付して図4（A）～（D）と同様の実験を行なったときの計測データを図5（A）～（D）にそれぞれ示す。横軸と縦軸の関係および実線と破線の関係は図4（A）～（D）に示すものと同様である。

【0068】図5の（A）および（B）に示される波形は、a部分およびb部分がバーコード型反射シールに印されたバーコードの形を良く表わしているものの反射光の波形に若干雑音が乗っている。この雑音は、測定環境下における埃や振動の影響と考えられる。

【0069】図5（C）に示される3段目のグラフの左側部分に示される回転周期の相関関数のピークははつきり分かるものの、基準レベルSLを超える相関値を示すものがあり、雑音の影響が認められる。

【0070】また、図5（D）に示される4段目のグラフの左側部分に示される捩り歪み量の相関関数に雑音の影響がはつきりと認められる。両波形が重なり合った真のピークよりも一山分ずれた間違った位置に相関関数のピークが現われており、間違ったトルクが算出される原因となる。

【0071】ところが、第1の反射体50および第2の反射体51にM系列の反射シール77を用いると、図4（C）および（D）の左側部分にそれぞれ示されるように、動力伝達軸21の回転周期の相関関数や捩り歪み量の相関関数は、バーコード型反射シールに比較してピークが正確な位置に鋭く出ており、ピーク値以下の領域の信号レベルはいずれも基準レベルSLを大きく下回っており、雑音の影響を殆ど受けないことを初めて知見した。

【0072】図6（A）～（D）はコンバインドサイクル発電プラント10の動力伝達軸44にバー部分の間隔が徐々に拡がるバーコード型反射シールを貼付した場合の計測データをそれぞれ示す。横軸と縦軸の関係および実線と破線の関係は図4および図5（A）～（D）に示すものと同様である。

【0073】図6の（A）および（B）に示される波形は、a部分およびb部分がバーコード型反射シールに印されたバーコードの形を良く表わしているものの反射光の波形に若干雑音が乗っている。この雑音は、測定環境下における埃や振動の影響と考えられる。

【0074】図6（C）に示される3段目のグラフの左側部分に示される回転周期の相関関数のピークははつきり分かるものの、基準レベルSLを超える相関値を示すものがあり、雑音の影響が認められる。

【0075】また、図6（D）に示される4段目のグラフの左側部分に示される捩り歪み量の相関関数に大きなレベルの雑音の影響が認められる。雑音の相関値がこれ以上大きくなると、間違った位置に相関関数のピークが現われる可能性がある。

【0076】図5(A)～(D)および図6(A)～(D)に示すように、バーコード型反射シールのように等間隔配置やバーコード間隔が所定の比率で拡がるバーコード等は雑音が乗ると、バーコード間の距離だけずれて位相差が算出され易くなるが、M系列反射シールは両波形が正確に重なり合う相関ピーク位置から少しでも位相がずれると、相関がゼロとなるホワイトノイズであり、雑音に強い。

【0077】〔回転体の回転周期および軸トルクの算出方法〕図2に示されるトルク計測装置45においては、回転体である動力伝達軸21の軸方向異なる2位置に第1および第2の反射体50, 51として図3に示すM系列反射シール77を貼り付けたので、コンバインドサイクル発電プラント10を運転させると、M系列反射シール77からのレーザ光の反射光は、強弱が周期性をもって繰り返される。

【0078】このため、第1および第2の光検知装置52, 53で検出される反射光は、強弱が繰り返され、M系列反射シール77以外からの雑音を除去すると、変形櫛歯形状の第1および第2の検出信号を、図7に示すように、動力伝達軸21の回転毎に得ることができる。図

$$\phi(\tau) = \frac{1}{2\delta} \sum_{t=c-\delta}^{t=c+\delta} F(t+\tau) \cdot F(t) \quad \dots \dots (1)$$

但し、C : 検出信号のずれ時間

τ : 遅れ時間

δ : 第1の検出信号の時間幅

で表わされる。

【0081】(1)式から遅れ時間τを0から増加させて相関関数φ(τ)の値を計算する。この計算は、図8に示す最初の検出(パルス)信号を時間的に遅れさせて次のパルス信号との重なり度合を調べる操作に相当する。遅れ時間τが回転周期に近付くと、最初のパルス信号が次のパルス信号で一致するようになり、相関関数φ(τ)の値が大きくなる。この相関関数は、双方のパルス信号が最も一致した場合に最大となり、この時の遅れ時間τが回転周期となる。

【0082】そして、この相関関数φ(τ)の計算結果

$$\phi_i(\tau) = \frac{1}{2\delta} \sum_{t=c_i-\delta_i}^{t=c_i+\delta_i} G_1(t) \cdot G_2(t+\tau) \quad \dots \dots (2)$$

但し、C<sub>i</sub> : 第1の検出信号のずれ時間

δ<sub>i</sub> : 第1の検出信号の時間幅

で表わされる。

【0084】(2)式より、遅れ時間τを0から増加させていく、捩り歪み量の相関関数φ<sub>i</sub>(τ)を計算する。この計算は、第1の検出信号のパルス信号を時間的に遅れさせ、第2の検出信号のパルス信号との重なり度合を調べる操作に相当する。第1および第2の検出信号のパルス信号は同一形状の信号であるため、動力伝達軸

7には、第1および第2の検出信号を櫛歯形状に簡略化した例を示す。M系列反射シール77以外からの反射光の雑音は、信号処理装置54に備えられたフィルタリング装置で除去される。

【0079】第1および第2の検出信号は実際には、信号処理装置54に取り込まれてフィルタリング装置で雑音処理されて図7に示すように簡略的に表わされ、信号処理装置54に組み込まれた相関処理装置に送られる。この相関処理装置では、時間的に異なる2つの第1の検出信号の相関関数から動力伝達軸21の回転周期を求める。一方、次の回転周期における検出信号の検出位置が予測できるようになっている。この回転周期から動力伝達軸21の直径Dが例えば40cmと既知であるから、動力伝達軸21の周速を求めることができる。

【0080】また、動力伝達軸21の回転周期は、時間的に異なる2つの第1の検出信号の相関関数から求めることができ、時間的に異なる第1の検出信号を抽出して関数F(t)とすると、2つの第1検出信号における回転周期の相関関数φ(τ)は、

20 【数1】

を図9に示す。図9に示された計算結果から、相関関数φ(τ)による回転周期は、20.921256msとなる。この回転周期は、第1の検出信号と同様に、第2の検出信号から求めることができる。

【0083】また、動力伝達軸21のトルクは、第1の検出信号と第2の検出信号の相関関数φ<sub>i</sub>(τ)から求めることができる。図13に示すように、第1の検出信号の出力信号を抽出して関数G<sub>1</sub>(t)とし、第2の検出信号の出力信号を抽出して関数G<sub>2</sub>(t)とすると、捩り歪み量の相関関数φ<sub>i</sub>(τ)は、

【数2】

21に負荷が存在しない場合、遅れ時間τがなく一致する。

【0085】一方、動力伝達軸21に負荷が存在する場合には、第2の検出信号のパルス信号に遅れ時間τが発生する。この遅れ時間τは、時間的にずらした第1の検出信号のパルス信号が第2の検出信号のパルス信号と一致して相関関数φ<sub>i</sub>(τ)が最大になった場合の遅れ時

間 $\tau$ である。

【0086】この相関関数 $\phi_i(\tau)$ の計算結果を図14に示す。この結果、遅れ時間 $\tau$ は、 $\tau = 1.1 \mu s$ となる。この遅れ時間 $\tau$ と次式から動力伝達軸21の軸トルク $F_t$ を計算することができる。軸トルク $F_t$ は、

【数3】  

$$F_t = 2\pi Kx \cdot t / T \quad \dots (3)$$

但し、  
 $K$ ：動力伝達軸の振ればね定数（振り剛性係数）  
 $x$ ：測定間距離  
 $T$ ：パルス信号の周期

で表わされる。

【0087】このように、回転体である動力伝達軸21の外周面に貼られた反射シール77で反射したレーザ光が受光素子である光検知装置52、53（図2参照）を通してパソコン等の信号処理装置54に入力されて信号処理される。

【0088】反射レーザ光の経時変化は反射シール77における部分が波形状になっており、その他の部分は変化のない平らな形状になっており、回転体21が回転する毎に波形部分が周期的に現われる。回転体21の軸方向に異なる2位置からの反射レーザ光の出力信号を1チャンネル（ch）、2チャンネル（ch）として得、両チャンネルの出力信号波形部の相関処理を行ない、位相時間を計算することで回転体21の軸トルクを算出できる。

【0089】すなわち、信号処理装置54に内蔵された相関処理装置第1および第2検出信号を回転毎に相関処理することで、回転体である動力伝達軸21の回転毎の回転周期を正確に精度よく計算することができる。さらに、第1の検出信号と第2の検出信号とを相関処理することで図14に示す遅れ時間 $\tau$ を求めることができ、この遅れ時間 $\tau$ と式(3)から回転体である動力伝達軸21の回転トルクを所定の高精度で求めることができる。

【0090】【回転体の回転周期の予測】従来は、回転体21の反射レーザ光の出力信号処理により得られる波形部を検知するに当り、パソコンに内蔵のデータ解析プログラム上で回転体21の回転周期を予想し、一定値として入力しており、一つの波形が現れると、一定時間（入力した回転周期）後に次の波形が現れ、また、一定時間（入力した回転周期）後に次の波形が現れると想定していた。

【0091】この場合、実際に回転体21の回転周期が変動したり、回転数周期の値が正確でなかつたりすると、次の波形の予想した位置と実際の位置との間にずれが生じ、位相時間の算出に影響を及ぼすことがあった。

【0092】そこで、回転体21の回転周期を変動時にも正確に予想できる予測方法を開発した。この回転体21の回転周期の予測方法では、回転体21の1回転毎に波形間の回転周期を正確に求め、次の波形位置を予測す

る方法である。

【0093】以下に、回転体21の回転周期を予測する具体的手順を説明する。

【0094】①レベルトリガによって、初めの波形と次の2番目の波形から大まかな回転体21の回転周期を特定する。

【0095】②初めの波形と次の2番目の波形とを相関処理することによって正確に回転周期を求める。

【0096】③その回転周期からまた次の3番目の波形位置を予想する。

【0097】④レベルトリガによって、2番目の波形と次の3番目の波形の大まかな回転周期を特定する。

【0098】⑤次に、2番目の波形と次の3番目の波形から正確に回転体21の次（2番目）の回転周期を求める。

【0099】⑥その回転周期からまた次の4番目の波形位置を予想する。

【0100】⑦この手順を繰り返すことにより、次々に回転体21の回転周期を正確に予想し、求めることができる。

【0101】図12は、図2に示されるトルク計測装置45を用いた回転体21の回転周期の予測データである。

【0102】図12(A)は回転体21の軸方向に異なる2位置に貼られた反射シール50、51のうち、反射シール50からの反射レーザ光で得られる第1チャンネルの出力波形を回転周期毎に重ね合せた15回転分のデータ、図12(B)は、反射シール51からの反射レーザ光で得られる第2チャンネルの出力波形を回転周期毎に重ね合せた15回転分のデータである。

【0103】図12(C)の右側は、第1チャンネルの最初の出力波形と次の出力波形の相関をとる相関処理したデータであり、図12(C)の左側は、相関処理によって得られる回転体21の各回転毎の回転周期を表したデータである。

【0104】図12(D)の右側は、第1チャンネルと第2チャンネルの出力波形の相関をとって相関値データであり、左側は、両チャンネルの出力波形の相関処理によって得られる軸トルクを表すデータである。

【0105】発電機器における回転体21の回転周期は、変動する場合でも、1回転毎の変動は微少なので、この具体的な手法によって回転体21の回転周期の解析精度の向上が可能である。

【0106】【マスキング】回転体21の軸トルクは、回転体21の軸方向に異なる2位置に貼られた反射シール50、51からの反射レーザ光を信号処理し、両チャンネルの出力波形部の相関処理を行ない、位相時間を計算することが行なっている。

【0107】しかし、両チャンネルの出力波形部同士で相関処理を行ない、位相時間を算出する場合、出力波形

領域の所定値部分にノイズがあると、そのノイズと本来の出力波形部との間で相関が取れてしまい、軸トルク計算結果に影響が生じる場合がある。

【0108】このため、回転体21の軸トルクを正確に精度よく検出するために、このトルク計算装置45(図2参照)では、図13に示すように、出力波形部以外にマスキングを施し、ノイズの影響をなくす信号処理を行なっている。

【0109】図13(A)～(D)は、両チャンネルの出力波形部にマスキングを施した例を示し、図14(A)～(D)は、両チャンネルの出力波形部にマスキングを施さない例を示す。

【0110】図13および図14において、(A)は回転体21の1周期目と2周期目の第1チャンネルによる出力波形を、(B)は第2チャンネルの出力波形をそれぞれ示す。図13(C)および図14(C)の右側は、第1チャンネル(または2チャンネル)の出力波形同士で相関を取りるように相関処理したデータであり、その左側は相関処理データから得られる回転体21の回転周期(回転速度)を示すデータである。

【0111】図13(D)および図14(D)の右側は、第1チャンネルと第2チャンネルの出力波形同士の相関を取った相関処理データであり、図13(D)および図14(D)の左側は、その右側の相関処理データから算出される回転体21の軸トルクを示す。

【0112】図13(D)の右側に示すように、出力波形部以外にマスキングを施すマスキング処理した場合、第1チャンネルと第2チャンネルの出力波形同士で相関

$$\eta_{GT} = \frac{GT\text{出力}}{\text{燃料(LNG)入熱}} = \frac{LNG\text{入熱} - GT\text{出熱}}{LNG\text{入熱}} \quad \dots\dots (4)$$

で表わされ、この(4)式の算出式から両辺を微分して整理すると、GT効率の精度は、

$$\begin{aligned} |\delta\eta_{GT}/\eta_{GT}| &= W_{gas}/(W_{LNG}-W_{gas}) |\delta G_{gas}/G_{gas}| \\ &+ W_{gas}/(W_{LNG}-W_{gas}) |\delta h_{gas}/h_{gas}| \\ &+ W_{gas}/(W_{LNG}-W_{gas}) |\delta W_{LNG}/W_{LNG}| \\ &= 7.8\% \end{aligned} \quad \dots\dots (5)$$

但し、  
 $W_{gas}$  : 排ガスの熱量  
 $W_{LNG}$  : 燃料における発生熱量  
 $G_{gas}$  : 排ガス流量  
 $h_{gas}$  : 排ガスのエンタルピ

で表わされる。

【0117】同様に、排熱回収ボイラの効率 $\eta_{HRSG}$

$$\eta_{HRSG} = \frac{W_{wtr}}{G_{gas} \cdot h_{gas}} \quad \dots\dots (6)$$

で表わされ、この算出式(6)から両辺を微分して整理すると、排熱回収ボイラ効率の精度は、

が取れていることがわかり、図13(D)の左側に示すように、ピーク値が明瞭に表われ、回転体21の軸トルクを正確に精度よく検出できる。図14(D)の右側に示すように、マスキングを施さない場合には、出力波形とノイズで相関が取れてしまい、図14(D)の左側に示すようにピーク値が不明瞭となって、回転体21の軸トルクを正確に測定できない場合がある。

【0113】ところで、図1に示すコンバインドサイクル発電プラント10においては、プラント熱効率管理のために、ガスタービン(GT)設備全体、排熱回収ボイラ設備全体、蒸気タービン(ST)設備全体に関し、個別にヒートバランス解析法を用いた性能計算を現状で行なっている。

【0114】コンバインドサイクル発電プラント10で計測された管理用データを基に直接、ガスタービン1、排熱回収ボイラ13および蒸気タービン12の各主要設備の性能計算をした場合、現状の性能計算方法では、ガスタービンの効率 $\eta_{GT}$ 、排熱回収ボイラの効率 $\eta_{HRSG}$ 、および蒸気タービンの効率 $\eta_{ST}$ に、それぞれ7.8%、3.2%、15.6%程度と数%以上のバラツキがある。

【0115】現状の各主要設備の性能計算の精度では、通常起り得る2%程度のコンバインドサイクル発電プラント10のプラント熱効率変化に対してその性能劣化原因を診断するには不充分であった。

【0116】コンバインドサイクル発電プラント10のGT効率 $\eta_{GT}$ は、算出式

【数4】

$$\eta_{GT} = \frac{LNG\text{入熱} - GT\text{出熱}}{LNG\text{入熱}} \quad \dots\dots (4)$$

【数5】

の算出式は、

【数6】

$$\dots\dots (6)$$

【数7】

$$\begin{aligned}
 |\delta \eta_{HRS} / \eta_{HRS}| &= |\delta W_{WTR} / W_{WTR}| \\
 &\quad + |\delta G_{Gas} / G_{Gas}| + |\delta h_{Gas} / h_{Gas}| \\
 &= 3.2\%
 \end{aligned} \cdots \cdots (7)$$

但し、  
 $W_{WTR}$ ：発生蒸気熱量  
 $G_{Gas}$ ：排ガス流量  
 $h_{Gas}$ ：排ガスのエンタルピ（温度・比熱）

となる。

【0118】さらに、蒸気タービン（ST）の効率の算出式は、  
 $\eta_{ST} = \frac{W_{GT}}{W_{WTR}}$  【数8】  
 $\eta_{ST} = \frac{W_{GT}}{W_{total}}$  発電機出力 - GT出力

で表わされ、この算出式（8）の両辺を微分して整理す

ると、

$$\begin{aligned}
 |\delta \eta_{ST} / \eta_{ST}| &= |W_{GT} / (W_{total} - W_{GT})| + |\delta W_{GT} / W_{GT}| \\
 &\quad + |\delta W_{WTR} / W_{WTR}| \\
 &= 15.6\%
 \end{aligned} \cdots \cdots (9)$$

但し、  
 $W_{GT}$ ：ガスタービン出力  
 $W_{total}$ ：発電機出力  
 $W_{WTR}$ ：蒸気熱量

で表わされる。

【0119】しかしながら、図2に示されるトルク計測装置45を用いて回転体である動力伝達軸21の軸トルクを算出し、計測された軸トルクからガスタービン11および蒸気タービン12の出力切分けを行ない、ヒートバランス解析法により熱効率診断を行なうと、各主要機器の性能誤差評価は、表1に示すように、桁違いに算出精度が向上し、1%以下の精度で熱効率診断を行なうことができる。

20 器の性能誤差評価は、表1に示すように、桁違いに算出精度が向上し、1%以下の精度で熱効率診断を行なうことができる。

#### 【0120】

#### 【表1】

	$\eta_{GT}$	$\eta_{HRS}$	$\eta_{ST}$
現状の熱効率管理方法	7.8%	3.2%	15.6%
トルク計測装置の使用	0.56%	0.95%	0.77%

30

【0121】[プラント熱効率算出に関して] トルク計測装置45を用いたコンバインドサイクル発電プラント10の熱効率の算出の根拠を以下に示す。この熱効率算出は、蒸気タービン側のカップリングにM系列反射シール77を貼付して計測した例を示す。

$$\eta_{ST} = W_{GT} / W_{WTR} \cdots \cdots (10)$$

【0124】この算出式の両辺を微分して整理すると、蒸気タービン効率の精度は、

$$\begin{aligned}
 |\delta \eta_{ST} / \eta_{ST}| &= |\delta W_{GT} / W_{GT}| + |\delta W_{WTR} / W_{WTR}| \\
 &= 0.77\%
 \end{aligned} \cdots \cdots (11)$$

となる。

【0125】(2) ガスタービン効率 $\eta_{GT}$ の算出式は

$$\eta_{GT} = W_{GT} / W_{LNG}$$

【0126】この式（12）の算出式の両辺を微分して整理すると、ガスタービン効率の精度は、

$$\begin{aligned}
 |\delta \eta_{GT} / \eta_{GT}| &= |\delta W_{GT} / W_{GT}| + |\delta W_{LNG} / W_{LNG}| \\
 &= 0.56\%
 \end{aligned} \cdots \cdots (13)$$

となる。

式（12）で

【数12】  $\cdots \cdots (12)$

【数13】

50 【0127】(3) 排熱回収ボイラの効率 $\eta_{HRS}$ の

算出式は式(14)で表わされる。

【0128】

$$\eta_{H R S G} = \frac{W_{w t r}}{G_{g a s - h g a s}} = \frac{W_{w t r}}{W_{L N G} - W_{G T}} \cdots \cdots (14)$$

【0129】このH R S G効率の算出式から両辺を微分して整理すると、

$$\begin{aligned} \delta \eta_{H R S G} / \eta_{H R S G} &= | \delta W_{w t r} / W_{w t r} | \\ &+ W_{G T} / (W_{L N G} - W_{G T}) | W_{G T} / W_{G T} | \\ &+ W_{L N G} / (W_{L N G} - W_{G T}) | \delta W_{L N G} / W_{L N G} | \\ &= 0.95\% \end{aligned} \cdots \cdots (15)$$

となる。

【0130】このように、コンバインドサイクル発電プラント10の熱効率管理をトルク計測装置45を用いてヒートバランス解析法による熱効率診断を行なうと、各熱効率性能計算の算出精度が、現状の熱効率管理方法に較べ、桁違いに向上するので、ガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラの各主要機器の性能変化診断、特に性能劣化診断を1%以下の熱効率精度で正確に精度よく評価することができ、性能劣化が生じた主要機器の特定が容易となる。

【0131】【第2の実施形態】図15は本発明に係るトルク計測装置の第2実施形態を示すものである。

【0132】この実施形態に示されたトルク計測装置85は、第1および第2の軸振れ補正装置86、87をビーム調整装置88内に備え、回転軸21に水平方向移動が生じても、軸トルクを正確に精度よく計測できるようにしたものである。図1に示されたトルク計測装置45と実質的に同じ構成には同じ符号を付して説明を省略する。

【0133】第1および第2の軸振れ補正装置86、87は回転体21の軸方向に離間させて備えられる。第1の軸振れ補正装置86は、光学センサとしての第1の照射光学系65と第1の補正照射光学系90とを組み合せたもので、両照射光学系65、90は共通の光軸を有するように設けられる。第1の補正照射光学系90は第1の照射光学系65と同様に反射ミラー67、ハーフミラー68、集光レンズ69を組み合せて構成される。両照射光学系65、90の間にターピンと発電機を連結する動力伝達軸等の回転体21が配設される。両照射光学系65、90は回転体44のほぼ直径方向に対向配置される。

【0134】両照射光学系65、90は回転体21の軸方向に移動調節自在に、かつ互いに隣接する方向（回転体21の略半径方向）に個別に微調節自在に設けられる。両照射光学系65または90を互いに隣接する方向に微調節移動させるときは、ビームスプリット光学系91のハーフミラー92または反射ミラー93と一緒に移動せしめられる。

【数14】

【数15】

$$\cdots \cdots (15)$$

【0135】また、第2の軸振れ補正装置87は、第2の照射光学系66と第2の補正照射光学系95とを備えたもので、両照射光学系66、95は共通の光軸を有するように設けられる。両照射光学系66、95の間に回転体21が配設され、両照射光学系66、95は回転体21のほぼ直径方向に対向配置される。

【0136】両照射光学系66、95は回転体21の軸方向に沿って移動調節自在に、かつ互いに隣接する方向（回転体21の略半径方向）と個別に微調節自在に設けられる。両照射光学系66または95を互いに隣接する方向に微調節移動させるとときは、ビームスプリット光学系91のハーフミラー96、97または反射ミラー98と一緒に移動せしめられる。

【0137】ビームスプリット光学系91には、出力装置46から出力される光線としてのレーザ光が光伝送手段47を経て案内される。光伝送手段47からのレーザ光はレンズ61にて平行光とされる。この平行レーザ光はメインハーフミラー96にて第1のレーザ光と第2のレーザ光に分岐される。

【0138】ハーフミラー96を透過した第1のレーザ光は、さらにハーフミラー92にて分岐され、分岐された各レーザ光が第1の軸振れ補正装置86の第1の照射光学系65および第1の補正照射光学系90にそれぞれ導かれるようになっている。

【0139】一方、ビームスプリット光学系91のメインハーフミラー96にて反射せしめられた第2のレーザ光は、ハーフミラー97に導かれて分岐される。分岐された第2のレーザ光は、第2の軸振れ補正装置87の第2の照射光学系66および第2の補正照射光学系95にそれぞれ導かれるようになっている。

【0140】このトルク計測装置85は、第1の軸振れ補正装置86および第2の軸振れ補正装置87により、回転体21の軸方向に異なる2位置で、回転体21の表面に焦点が合うように調節されて第1のレーザ光および第2のレーザ光がそれぞれ照射せしめられる。

【0141】第1のレーザ光は、第1の軸振れ補正装置86の第1の照射光学系86と第1の補正照射光学系90により、回転体21の表面上に、回転体21の略直

径方向に対向した2位置から照射される。第2のレーザ光も、第1のレーザ光と同様、第2の軸振れ補正装置87により回転体21の表面上に、回転体21の略直径方向に対向する2位置から照射される。

【0142】第1および第2の軸振れ補正装置86, 87から回転体44の表面にほぼ直径方向の2位置から照射された各レーザ光の反射光は、各照射光学系65, 90:66, 95内を反射し、そのハーフミラー68, 68:71, 71から検出光学系100, 101:102, 103に導かれ、受光手段としての光検出装置104に入力される。光検出装置104では、各反射光の強弱を検出して光電変換している。反射光の強さに比例した電気信号は、統いて汎用計算機である信号処理装置54に送られて信号処理され、第1実施形態と同様な処理が行なわれて回転体21の回転周期や軸トルクが算出される。

【0143】各検出光学系100～103は、レンズと光ファイバを組み合せた光学系を示したが、この検出光学系100～103はレンズと光ファイバの組合せ以外に種々の光学系が考えられる。また、ビームスプリット光学系91を設ける代りに、第1の軸振れ補正装置87の各照射光学系66, 95に、レーザ光発振器等の出力装置を個別に設けてもよい。個別に出力装置を設けた場合も、ビームスプリット光学系91は不要となる。

【0144】第2実施形態に示されたトルク計測装置85は回転体21の軸方向に異なる2位置に、第1および第2の軸振れ補正装置86, 87を設け、各軸振れ補正装置86, 87により回転体21の表面にレーザ光をほぼ直径方向に対向する2位置から焦点が合うように照射される。このため、回転体44には1つの軸断面につき少なくとも直径方向に対向した2位置に反射体50, 50、また別の軸断面では反射体51, 51が貼り付けられる。反射体50, 51にはM系列反射シールを用いるのが好ましい。

【0145】ビーム調整装置88が第1および第2の軸振れ補正装置86, 87を備え、一方の軸振れ補正装置86は照射光学系65と補正照射光学系90を上下に回転体21の直径方向に対向配置することにより、回転体21の軸移動（水平方向の軸振れ）による検出精度誤差を吸収できる。他方の軸振れ補正装置87も一方の軸振れ補正装置86と同様に機能する。

【0146】回転体21の軸振れには回転体21の水平方向の軸移動と軸偏心に伴う振動が生じるが、回転体21の回転中心と回転体21の中心が異なる軸偏心は、回転体21の周方向に多数の反射シールを貼付することで検出精度誤差を吸収できる。

【0147】図16(A), (B)および(C)は、回転体21の周方向4箇所に反射体50または51としての反射シールa, b, c, dを等間隔に取り付けた例を示す。反射シールaとc、反射シールbとdは回転体2

1の直径方向にそれぞれ対向している。

【0148】〔回転体21の軸偏心がトルク測定精度に与える影響について〕回転体21が軸心廻りに回転し、回転体21に振れ廻りが生じていない図16(A)の場合には、図2に示されるトルク計測装置45の光学センサとしての照射光学系65, 66で回転周期や軸トルクを正確に精度よく測定できる。この場合、回転体21に貼り付けられた反射体としての反射シールは1つでよく、直径方向に対向して複数枚貼り付ける必要はない。

【0149】しかし、図16(B)および(C)に示すように、回転体21が振れ廻り偏心がある場合を考慮すると、図13の破線A, Bで示すように、ターピン出力の測定値にバラツキが生じ、誤差要因となる。

【0150】図16(A)～(C)において、回転体21はいずれも反時計方向に回転するものである。図16(B)および(C)は、明確化のために回転体21の偏心量を拡大して示しているが、実験では、回転体21の直径が40cmφ、偏心量を10μm程度に設定した。

【0151】回転体21に図16(B)に示すように振れ廻り偏心があると、回転体21に貼り付けられた反射シールaが上側光学センサ105の測定ポイントPaを通過する時間が遅くなる。このため、上側光学センサ105で検出される計測角度は、見かけ上大きく測定できる。上側光学センサ105は、例えば第1または第2の照射光学系65, 66で構成される。

【0152】一方、回転体21の反射シールcは下側光学センサ106の測定ポイントPcを通過する時間が早くなるため、見かけ上、計測角度は小さく測定される。下側光学センサ106は、例えば第1または第2の補正照射光学系90, 95で構成される。

【0153】回転体21が図16(B)から180度回転し、図16(C)に示す状態となった場合、反射シールaが下側光学センサ106の測定ポイントを通過する時間が遅くなるため、計測角度は大きくなる。また、反射シールcが上側光学センサ105の測定ポイントを通過する時間が早くなるため、計測角度は小さくなる。

【0154】このように、回転体21に振れ廻り偏心が生じると、反射シールaの計測角度は常に大きく、反射シールcの計測角度は常に小さく、反射シールb, dの計測角度は常に妥当な値で計測される。

【0155】反射シールaの計測角度に基づくターピン出力は、図16に破線Aで示すように、実際のターピン出力より常時高く検出され、反射シールcで計測されるターピン出力は鎖線Cで示すように、実際のターピン出力より小さく検出される。ターピン出力のバラツキ幅は10MW程度であり、軸偏心によるバラツキの影響が表されているものと思料される。また、反射シールb, dによる計測角度は実際のターピン出力付近を示す。

【0156】しかし、このトルク計測装置85では、回転体21上で180度対向する反射シールaとc、並び

に反射シール b と d で検出される計測角度の平均値をとることにより、軸偏心が回転体 21 の軸トルク検出の際、トルク測定精度に与える悪影響を除去することができる。図 17 の符号 A は反射シール a およびその付近の反射シールから上側光学センサ 105 で測定されたターピン出力であり、符号 C は反射シール c およびその付近の反射シールから下側光学センサ 106 で測定されたターピン出力である。これらの測定値のバラツキ幅は 10 MW 程度に及ぶ。

【0157】一方、回転体 21 の周方向に 180 度ずれた反射シール a と反射シール c から測定されたターピン出力の平均値をとると、図 17 に実線 B で示すように、4.2 ~ 4.3 MW となり、計測精度であるバラツキ幅は 1 MW 程度以下に減少させることができ、回転体 21 の軸偏心の影響を除去できる。

【0158】また、回転体 21 の軸偏心がトルク測定精度に与える影響を除去するためには、回転体 21 の周方向に等間隔に貼られる反射シールの数は多いほど、測定誤差のバラツキをより小さくすることができる。

【0159】図 18 は回転体として発電機とターピンを連結する 40 cm φ の動力伝達軸 21 を用意し、この動力伝達軸 21 の 80 cm φ の対をなすカッピングフランジ部に反射シールを 45 度間隔に 8 枚ずつ貼り付け、各 8 枚の反射シールからの反射光をフランジ部上方設置の上側光学センサ 105 とフランジ部下方設置の下側光学センサ 106 で測定された軸トルクから計測された 1 回転分のターピン出力の計測データである。

【0160】図 18において、符号 A は動力伝達軸 21 の両側カッピングフランジ部に対向してそれぞれ設置された上側光学センサ 105 で計測された 1 回転分のターピン出力の計測データであり、符号 B は、動力伝達軸 21 の両側カッピングフランジ部に対向設置された下側光学センサ 106、106 で計測された 1 回転分のターピン出力である。各光学センサ 105 と 106 で検出されたターピン出力の 1 回転分の平均をとると、各々 4.2 MW 程度となり、バラツキなく精度よく測定できる。

【0161】回転体である動力伝達軸 21 のカッピングフランジ部に反射シールを所要間隔、例えば 45 度間隔で貼着した場合の 1 回転分のターピン出力は、回転体 21 のフランジ部の軸水平方向の移動量に対してひずみ量が小さく、かつカッピングフランジ部間の距離が大きいので、光学センサ 105、106 は上側でも、あるいは下側でも 1 回転分の単純平均をとることにより精度よく測定できる。

【0162】これに対し、動力伝達軸 21 の胴部に反射シールを所要間隔、例えば 45 度間隔で貼着した場合の 1 回転分のターピン出力は、上側光学センサ 105、105 で検出される曲線 A と下側光学センサ 106、106 で検出される曲線 B との間に検出出力差が生じる。これは、回転体 21 脇部のひずみ量に対して軸水平方向移

動量の影響を無視できないことと、上側あるいは下側光学センサ 105、105 間あるいは 106、106 間の間隔がカッピングフランジ部間の間隔の 1/3 程度と無視できない。

【0163】この場合、照射光学系 111 から照射される照射光は、回転体 21 の表面上で楕円状のスポットとなる。この照射光によるスポット状の楕円の長軸が反射シール 50 (51) のバーコードの向きに一致させることにより、反射光による検出分解能を向上させることができる。このため、照射光と反射光を含む平面が回転体 21 の長手軸方向に沿うように光学センサ 113 を配置することが分解能を向上させる上で好ましい。

【0164】ただ、照射光学系 111 から照射される照射光に He-Ne レーザ光 (波長 6428 Å) より波長の短い光を用いれば、反射シール 50 (51) のバーコードの向きに対する光学センサ 113 の配置方向は特に限定されない。この場合には、光学センサ 113 の配置自由度を向上させることができる。

【0165】図 19 に示された計測データから、上側光学センサ 105 で検出される回転角度 0 のターピン出力と下側光学センサ 106 で検出される回転角度 180 度のターピン出力の加算平均は 4.2、5 MW 程度となり、180 度ずつ異なる位置での加算平均を探ると略 4.2 MW 程度のターピン出力値を探り、殆ど測定誤差が生じないことを知見した。

【0166】のことから、回転体 21 の直径方向に向する少なくとも 2 位置に反射シールを貼り付け、180 度対向する反射シールからの検出値の加算平均を探ることで、回転体 21 の軸偏心がトルク測定精度に与える影響を排除できることが確認できた。

【0167】図 20 は、本発明に係るトルク計測装置の第 3 実施形態を示すものである。

【0168】第 1 および第 2 実施形態のトルク計測装置 45、85 では、第 1 および第 2 の照射光学系 65、66 から回転体 44 の表面上に略垂直にレーザ光を照射し、照射光学系 65、66 の光軸上に反射される反射光を検出する例を示したが、図 20 に示すトルク計測装置 110 は照射光学系 111 から回転体 21 の表面上に斜めにレーザ光等の光線を照射し、その反射光線を検出光学系 112 で検出するようにしたものである。

【0169】上記照射光学系 111 と検出光学系 112 とから光学センサ 113 が構成され、この光学センサ 113 は、入射光線と反射光線が回転体 21 の表面上の垂線 VL に対し、等角度を成すように、照射光学系 111 と検出光学系 112 とが左右対称に配設される。

【0170】トルク計測装置 110 の光学センサ 113 を上述した構成とすることにより、図 2 および図 11 に示すトルク計測装置 45、85 の照射光学系 65、66 と異なり、照射光学系 111 と検出光学系 112 の光軸が異なり、相互の干渉作用を受けない。また、照射光学

系111にハーフミラーが不要となり、その分、出力装置46からのレーザ光等の光線出力が同じであれば、照射光および反射光の光強度を大きくとることができ、計測精度をより一層向上させることができる。トルク計測装置110の他の構成は図2や図11に示されるトルク計測装置と実質的に同じ構成とすることができ、このトルク計測装置110を用いると、回転体21の回転周期や軸トルクを出力装置46のレーザ光等の光線出力が小さくとも、正確に測定できる。

【0171】レーザ光を斜めから照射すると回転体21上の照射スポットが梢円あるいは長円、変形長円になる。照射スポットが梢円の場合、図21(A)に示すように、反射シール50(51)のバーコード縞方向と入射方向を同じにすると、反射シール50(51)の長手方向Lに照射スポット光が拡がらないため、反射シール50(51)のバーコード読み取り分解能が低下しない。

【0172】一方、図21(B)に示すように、反射シール50(51)の長手方向(バーコード縞方向と直交する方向)から入射すると、バーコードの縞方向に直交する方向が拡がり、バーコード読み取り分解能が低下する。

【0173】図22は、本発明に係るトルク計測装置の第3実施形態における第1変形例を示すものである。

【0174】この変形例に示されたトルク計測装置115は、光学センサ116を構成する照明光学系117と検出光学系118とを左右対称に配設し、上記光学センサ116をレンズ・ファイバからなる光学系で構成したものである。

【0175】トルク計測装置115は、図示しない出力装置から出力されるレーザ光等の光線を照射光学系117に案内する一方、この照射光学系117は、送信用光ファイバ120、コリメータレンズ121および対物レンズ122を組み合せて構成される。

【0176】また、照射光学系117から回転体21の表面に焦点が合うように照射された光線の反射光は検出光学系118に導かれ、この検出光学系118で検出される。検出光学系118は、対物レンズ124、コリメータレンズ125および受信用光ファイバ126で構成される。各光ファイバ120、126はプラスチックファイバであってもよい。

【0177】この場合にも、図20に示されたトルク計測装置110と同等の作用効果を奏する。図22に示すように対物レンズ122、124は、光線が通る部分を除き、その外周を削除する、いわゆる芯取りを行なうことにより、対物レンズ122、124のレンズ径を小さくすることができ、全体のコンパクト化を図ることができる。

【0178】図23は、本発明に係るトルク計測装置の第3実施形態における第2変形例を示すものである。

【0179】この変形例に示されたトルク計測装置130は、光学センサ131を構成する照射光学系132と検出光学系133の対物レンズの共通化を図ったものである。

【0180】図23に示すトルク計測装置130は、照射光学系132の対物レンズと検出光学系133の対物レンズとを各々独立して設ける代りに、1つの対物レンズ135で共用させたものである。照射光学系132と検出光学系133の対物レンズ135を共用させることにより、構成の簡素化を図ることができる。照射光学系132と検出光学系133の他の構成は、図22に示す光学センサ116と異なるので、同じ符号を付して説明を省略する。

【0181】図23に示すトルク計測装置130においても、照射光学系132と検出光学系133のコリメータレンズ121、125のいわゆる芯取りを行なうことにより、全体をコンパクト化できる。この場合、筒状ユニットケース内に照射光学系132と検出光学系133とを組み込んでユニット化してコンパクト化させ、1つのユニットで構成できる他、図20に示されたトルク計測装置110と同等の作用効果を奏することができる。

【0182】本発明の実施形態の説明においては、トルク計測装置を一軸型コンバインドサイクル発電プラントの動力伝達軸(発電機とタービンを連結する回転軸)に適用した例を示したが、このトルク計測装置は、蒸気タービンプラントの高圧タービンと中・低圧タービンとを備えた回転軸(動力伝達軸)や、蒸気タービンプラントのボイラ給水ポンプとボイラ給水ポンプ駆動タービンを連結する動力伝達軸に適用することもできる。

【0183】なお、一軸型コンバインドサイクル発電プラントは、ガスタービン-発電機-蒸気タービンを一軸で連結した例を説明したが、発電機-蒸気タービン-ガスタービンを一軸で連結した一軸型コンバインドサイクル発電プラントにも適用できる。

#### 【0184】

【発明の効果】本発明に係るトルク計測装置においては、回転体の軸方向に異なる位置にそれぞれ取り付けられたM系列反射シール等の反射手段から反射される反射光線の強度変化を雑音や外乱を排除した形で検出して回転体の回転速度や軸トルクを光学的に非接触にて精度よく正確に測定することができる。

【0185】このトルク計測装置は、M系列反射シールを用いることにより雑音の影響を器排除して回転体の回転速度や軸トルクを1%以下の測定精度で精度よく正確に測定できるので、このトルク計測装置を一軸型コンバインドサイクル発電プラントや蒸気タービンプラントの回転体として動力伝達軸に適用すれば、各プラント主要構成機器の熱効率管理を高精度にかつ容易に行なうことができ、各構成機器の熱効率変化の高精度診断が可能となる。各構成機器の熱効率劣化機器の特定が可能となる

ので、劣化機器の補修を行なうことが容易となり、プラント熱効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るトルク計測装置を適用した一軸型コンバインドサイクル発電プラントの構成を簡略的に示す系統図。

【図2】本発明に係るトルク計測装置の第1実施形態を示す原理的な構成図。

【図3】図2のトルク計測装置に用いられる反射手段としてのM系列反射シールの一例を示す図。

【図4】(A), (B), (C)および(D)は、コンバインドサイクル発電プラントの動力回転軸に貼着されたM系列シールからの反射光強度を図2に示すトルク計測装置で計測した計測データを示す図。

【図5】(A), (B), (C)および(D)は、等間隔バーコード型反射シールを用いて計測した図4と同様な計測データを示す図。

【図6】(A), (B), (C)および(D)は、所定比率間隔のバーコード型反射シールを用いて計測した図4と同様な計測データを示す図。

【図7】図2に示されるトルク計測装置によって得られる回転周期の計測結果を簡略的に示すタイミングチャート。

【図8】図2のトルク計測装置で回転速度を求める方法を示す図。

【図9】図2のトルク計測装置の相関関係から得られる回転速度を示すタイミングチャート。

【図10】図2のトルク計測装置によって求められる軸トルクを求める方法を示す図。

【図11】図9に示された出力関数の相関関数から得られる軸トルクを示す図。

【図12】(A), (B), (C)および(D)は図2のトルク計測装置を用いて回転体の回転周期を予測するデータ。

【図13】(A), (B), (C)および(D)は回転体の反射レーザ光により得られる出力波形部にマスキングを施した場合の処理データ。

【図14】(A), (B), (C)および(D)は回転体の反射レーザ光により得られる出力波形部にマスキングを施さない場合のデータ。

【図15】本発明に係るトルク計測装置の第2実施形態を示す構成図。

【図16】(A), (B)および(C)は、回転体の周方向4箇所に反射シールを等間隔に設けた例で、回転体の軸振れ廻り偏心を説明した図。

【図17】図13に示した回転体の周方向4箇所貼着の反射シールを用いてタービン出力を計測した例を示す図。

【図18】回転体フランジ部の周方向8箇所に反射シールを貼着して回転体1回転周期におけるタービン出力を

計測した例を示す図。

【図19】回転体胴部の周方向8箇所に反射シールを貼着して回転体1回転周期におけるタービン出力を計測した図。

【図20】本発明に係るトルク計測装置の第3実施形態を示すもので、回転体への照射光と反射光の関係を示す系統図。

【図21】(A)および(B)は回転体への照射スポット光と反射シールのバーコードの縞方向との関係をそれぞれ示す図。

【図22】本発明に係るトルク計測装置の第3実施形態における第1変形例を示す図。

【図23】本発明に係るトルク計測装置の第3実施形態における第2変形例を示す図。

【符号の説明】

10 10 コンバインドサイクル発電プラント

11 11 ガスタービンプラント

12 12 蒸気タービンプラント

13 13 排熱回収ボイラ (HRSG)

20 15 空気圧縮機

16 燃焼器

17 17 ガスタービン (GT)

18 18 発電機

19 19 煙突

20 20 蒸気タービン

21 21 動力伝達軸 (回転体)

23 23 復水器

24 24 復水給水系

25 25 給水ポンプ

26 26 低圧ドラム

27 27 高圧ドラム

30 30 低圧節炭器

31 31 低圧蒸発器

32 32 高圧節炭器

33, 34 33, 34 高圧蒸発器

35 35 過熱器

36 36 脱硝装置

37, 38, 39 37, 38, 39 ポンプ

40 40 蒸気配管

41 41 主蒸気管

45 45 トルク計測装置

46 46 出力装置

47 47 光伝送手段

48 48 ビーム調整装置

50 50 第1の反射体

51 51 第2の反射体

52 52 第1の光検知装置

53 53 第2の光検知装置

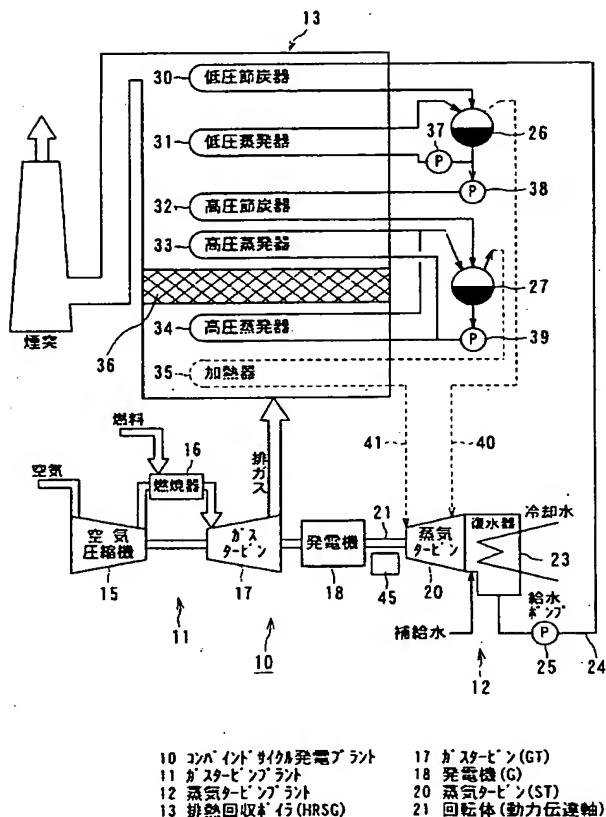
54 54 信号処理装置

56 56 レンズ

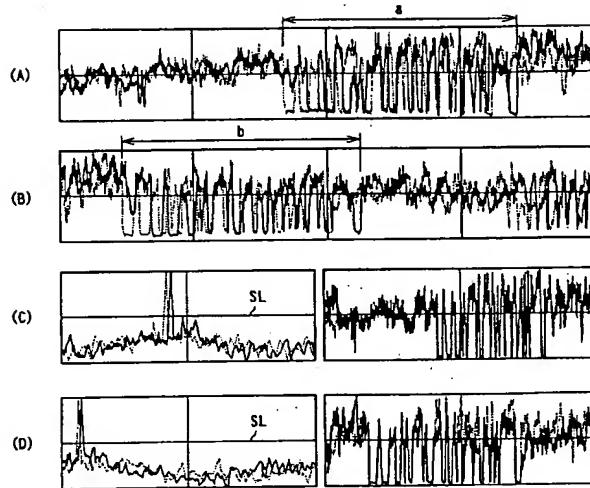
- 57, 59 光ファイバ  
 58 光コネクタ  
 60 ビームスプリット光学  
 61 レンズ  
 62 ハーフミラー  
 63 反射ミラー  
 65 第1の照射光学系（光学センサ）  
 66 第2の照射光学系（光学センサ）  
 67, 70 反射ミラー  
 67, 71 ハーフミラー  
 69, 72 集光レンズ  
 73, 74 ビームストップ  
 77 M系列反射シール  
 78 バーコード領域  
 79 反射率の大きな表面部分  
 80 反射率の小さな溝部分  
 85 トルク計測装置  
 86 第1の軸振れ補正装置（光学照射センサ）  
 87 第2の軸振れ補正装置（光学照射センサ）

- 90 第1の補正照射光学系  
 91 ビームスプリット光学系  
 92 ハーフミラー  
 93 反射ミラー  
 95 第2の補正照射光学系  
 96, 97 ハーフミラー  
 98 反射ミラー  
 100, 101, 102, 103 検出光学系  
 104 光検知装置  
 105 上側光学センサ  
 106 下側光学センサ  
 110, 115, 130 トルク計測装置  
 111, 117, 132 照射光学系  
 112, 118, 133 検出光学系  
 113 光学センサ  
 120 送信用光ファイバ  
 121, 125 コリメータレンズ  
 122, 124, 135 対物レンズ  
 126 受信用光ファイバ

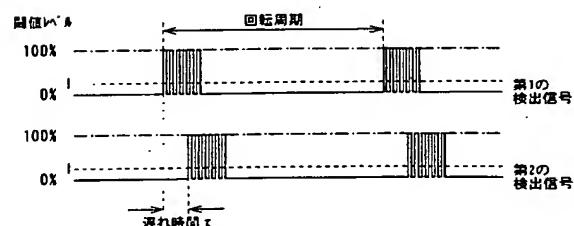
【図1】



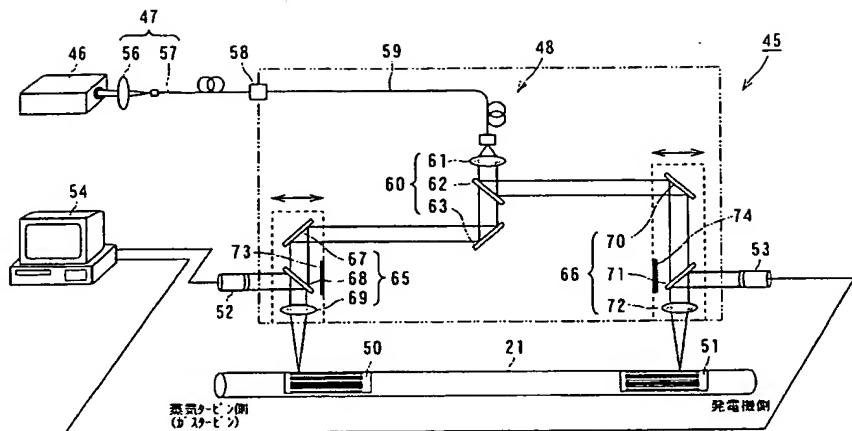
【図4】



【図7】

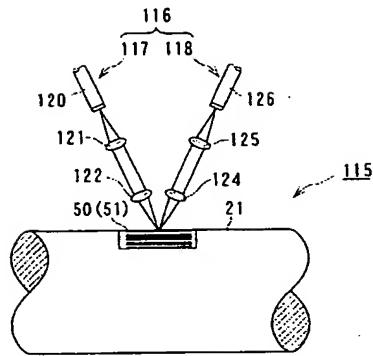


【図2】

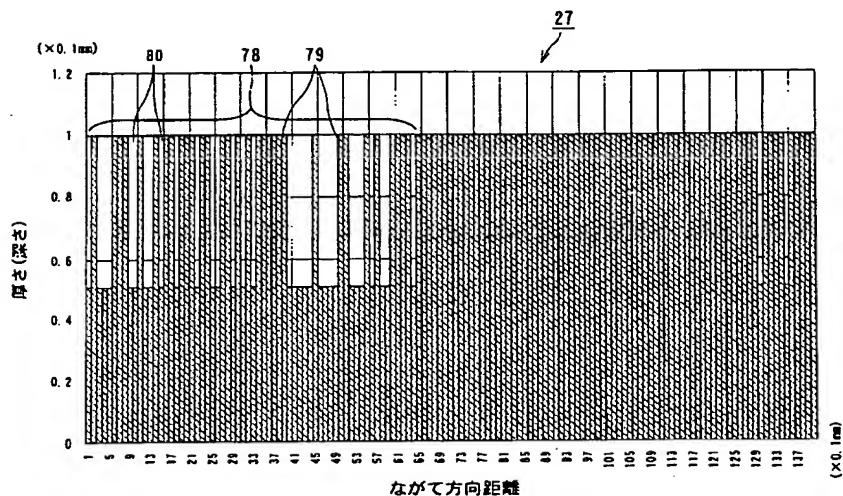


44 回転体  
45 トク計測装置  
46 出力装置  
47 ピ-ア調整装置  
48 ピ-ア調整装置  
50, 51 第1および第2の反射体  
52, 53 第1および第2光検知装置  
54 信号処理装置  
60 リタリット光学系  
65 第1の照射光学系  
66 第2の照射光学系

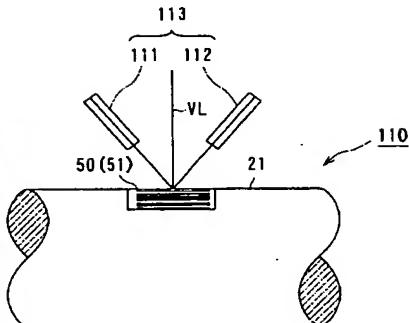
【図22】



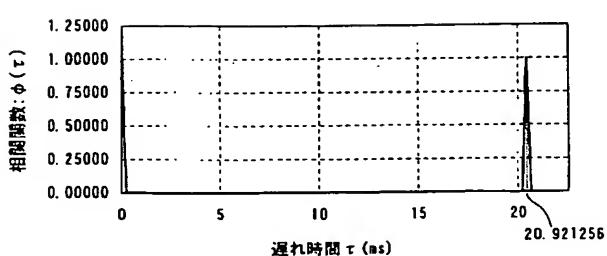
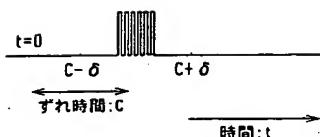
【図3】



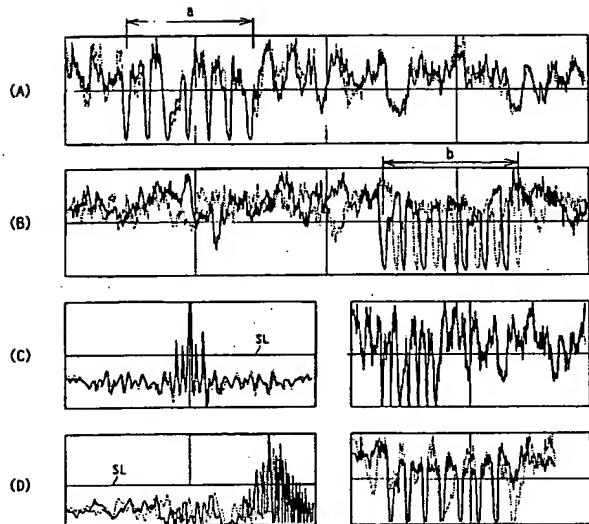
【図20】



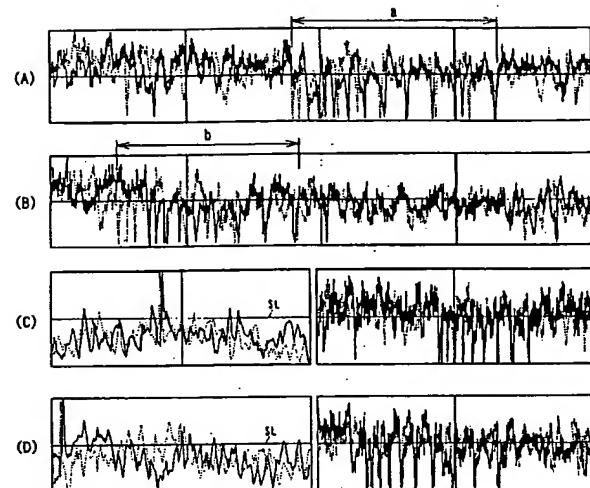
【図8】



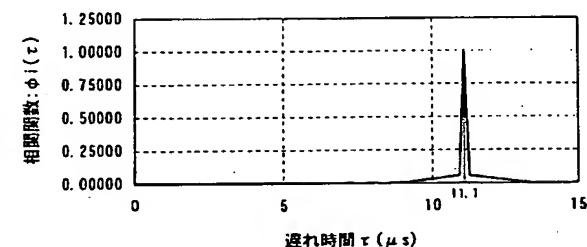
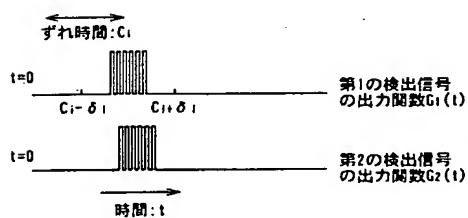
【図5】



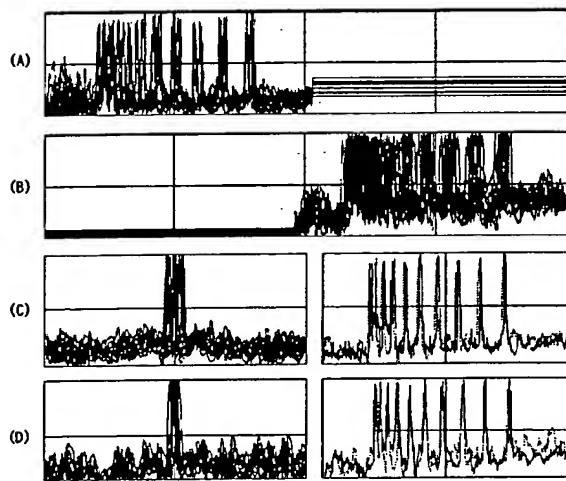
【図6】



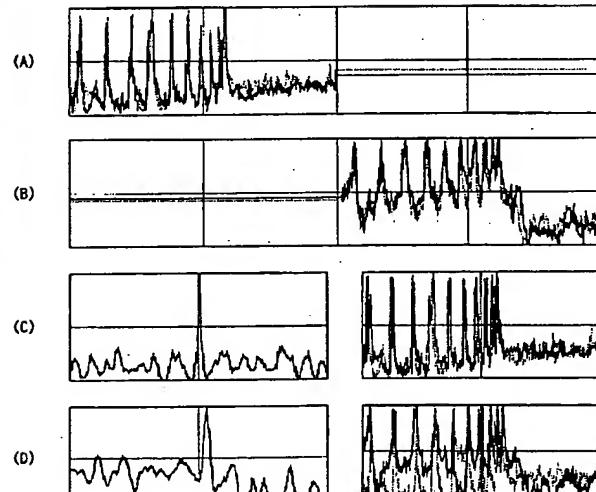
【図10】



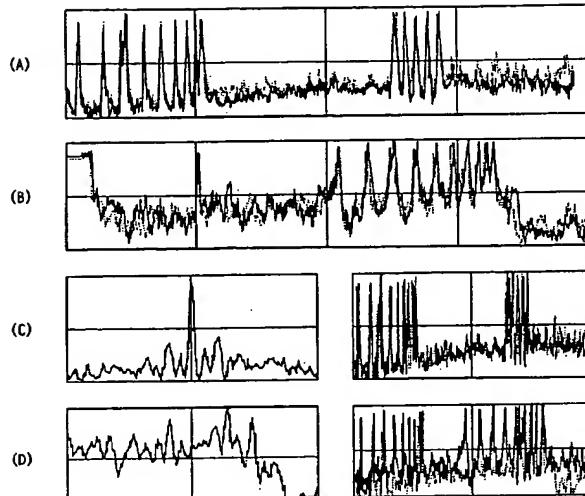
【図12】



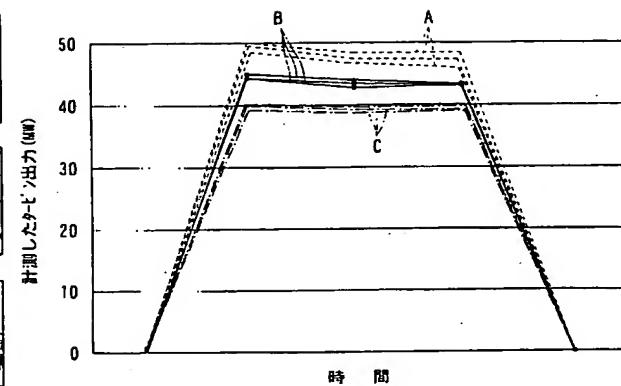
【図13】



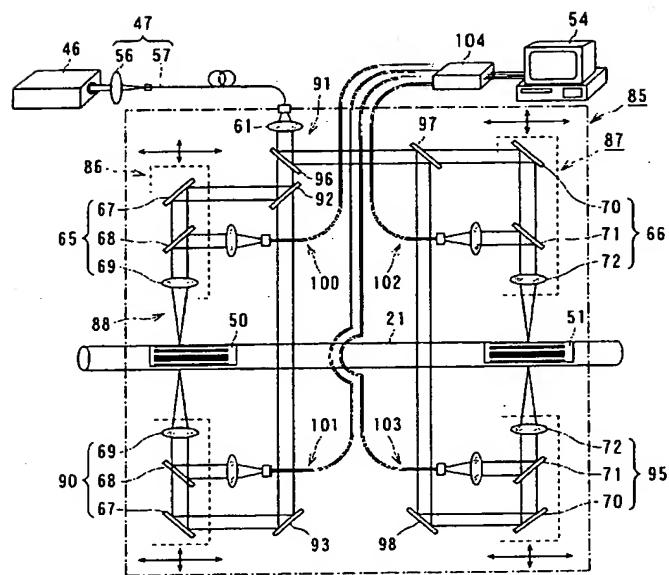
【図14】



【図17】

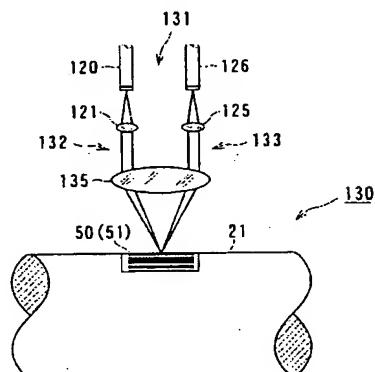


【図15】

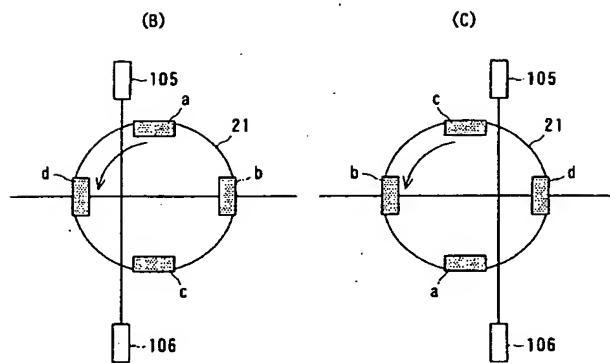
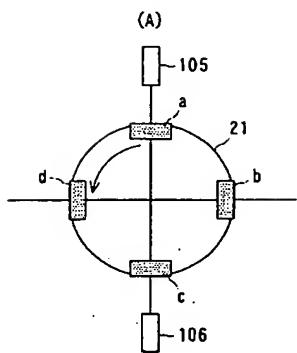


21 回転体  
65, 66 照射光学系  
85 ドラム測定装置  
86, 87 軸振れ補正  
90, 95 検正照射光学系  
91 ピ-マスプロット光学系  
104 光検知装置  
88 ピ-マス調整装置

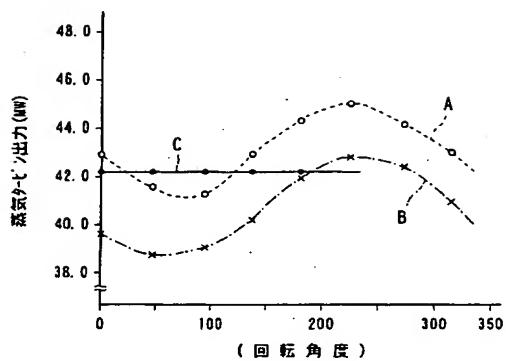
【図23】



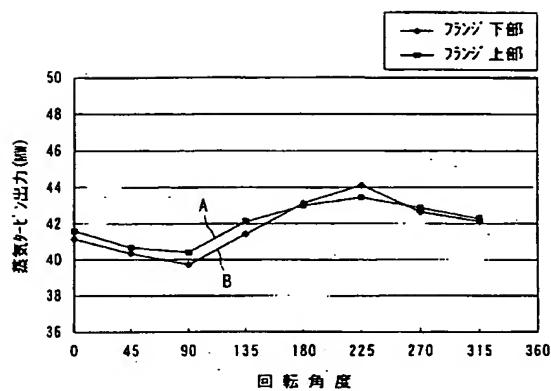
【図16】



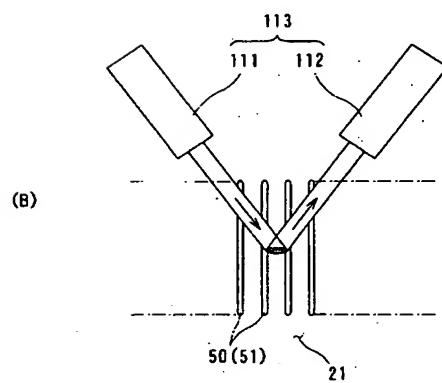
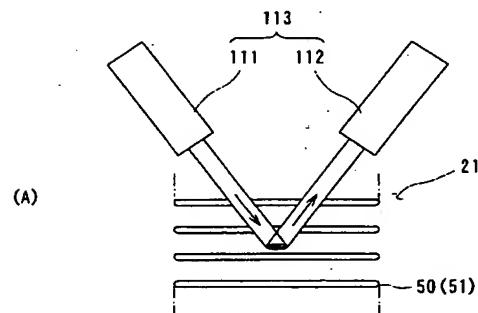
【図19】



【図18】



【図21】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3G081 BA02 BA11 BB00 BC07